

Einen Schritt voraus bei der Vorabscheidung von Flüssigkeit im Gaseintritt einer Kolonne

Der neue Schoepentoeter* Plus

In vielen industriellen Anwendungen spielt die Vorabscheidung von Flüssigkeit bei mehrphasigen Prozessströmen eine wichtige Rolle für die Leistungsfähigkeit der gesamten Anlage. Ein effektiver Betrieb wird umso wichtiger, wenn es darum geht, aus den verfügbaren Einsatzmaterialien mit abnehmender Qualität hochwertige Endprodukte herzustellen. Sulzer Chemtech und Shell* Global Solutions haben zusammen ein Gaseintrittssystem entwickelt, das den anspruchsvollsten Anwendungen gerecht wird.

* Schoepentoeter und Shell sind Handelsmarken von Shell

In der Öl- und Gasindustrie, d.h. in Ölraffinerien, petrochemischen Anlagen, Gasanlagen sowie in Bohr- und Förderanlagen, ist häufig irgendwo im Laufe des Prozesses die Trennung von Gas und Flüssigkeit erforderlich. Da die Betriebsbedingungen und die Anforderungen an die Abscheidung sehr unterschiedlich sein können, sollte die entsprechende Ausrüstung sehr sorgfältig gewählt werden, um sicherzustellen, dass sie der jeweiligen Aufgabe gerecht wird.

Zur Vorabscheidung von Flüssigkeiten im Gaseintrittsstutzen, bei der für gewöhnlich nicht mehr als 95% der Flüssigkeit aus dem Gasstrom abgeschieden werden müssen, ist der Schoepentoeter*  eines der effektivsten

Systeme auf dem Markt. Hierbei handelt es sich um einen von Shell* geschützten Eintrittsverteiler, der zur Einleitung von Gas-Flüssigkeits-Gemischen in Destillationskolonnen oder Gas-Flüssigkeits-Abscheidern eingesetzt wird. Der Schoepentoeter hat zwei Hauptfunktionen:

- Trennung der Flüssigkeit vom Gas
- Verteilung des Dampfes oder Gases im Behälter.

Dazu wird das einströmende Phasengemisch im Schoepentoeter mithilfe entsprechend verteilter und ausgerichteter Leitbleche in mehrere Teilströme aufgeteilt. Dadurch wird ein Großteil der kinetischen Energie abgebaut, sodass der Dampf sanft und gleichmäßig in den

Gasraum der Kolonne gelangt. Gleichzeitig wird das Phasengemisch durch die Leitbleche zentrifugal beschleunigt, um die Trennung der Flüssigkeit vom Dampf zu unterstützen und/oder zu verbessern, was sonst nur durch Schwerkraft möglich ist.

Je nach Aufgabe ermöglicht der Schoepentoeter einen erheblich kleineren Kolonneneintritt und somit eine Reduzierung der Gesamthöhe und -kosten der Kolonne.

Prozesstechnische Auslegungsparameter

Die Hauptauslegungsparameter für einen Schoepentoeter sind die Dimensionierung des Eintrittsstutzens, der Strömungsparameter und der Lastfaktor der Kolonne. Diese Faktoren spielen bei der Vorhersage der Effizienz des Schoepentoeters eine wichtige Rolle.

Die Dimensionierung des Eintrittsstutzens einer mit einem Schoepentoeter ausgestatteten Kolonne sollte auf dem maximalen Durchfluss (einschließlich der Auslegungsmarge) basieren. Der Innendurchmesser des Eintrittsstutzens kann dem Durchmesser der Rohrleitung zum Behälter entsprechen, wenn das Kriterium des maximalen Impulses erfüllt ist. Bei einigen Anwendungen mit sehr geringer Gasdichte, z.B. in Vakuumkolonnen von Raffinerien, sollte die Strömungsgeschwindigkeit des Gases an der Eintrittsdüse etwas geringer sein als die kritische Geschwindigkeit des Gases (d.h. die Schallgeschwin-

In einer Raffinerie spielt die Trennung von Gas und Flüssigkeit bei mehrphasigen Prozessströmen eine wichtige Rolle.



digkeit des Gasgemischs), um eine Stauung oder Schäden durch Vibrationen zu verhindern.

Der Strömungsparameter charakterisiert die Art des in den Behälter strömenden Gas-Flüssigkeits-Gemischs und ist proportional zum Verhältnis zwischen dem Flüssigkeitsmassenstrom und dem Gasmassenstrom.

Darüber hinaus wird die Leistungsfähigkeit des Schoepentoeters – insbesondere die Abscheideleistung – stark vom Kapazitätsfaktor der Kolonne beeinflusst, welcher proportional zum Verhältnis zwischen dem Volumenstrom des Gases und dem Querschnitt der Kolonne ist.

Trennleistung

Die Trennleistung eines Eintrittsverteilers für Gas-Flüssigkeits-Gemische ist normalerweise definiert als das Verhältnis zwischen dem Durchfluss der vom Gasstrom getrennten Flüssigkeit und dem Durchfluss der ursprünglich im Phasengemisch enthaltenen Flüssigkeit.

Bei einem Schoepentoeter kann die Trennleistung als Funktion des Durchmessers von Eintrittsstutzen und der Kolonne, dem Lastfaktor der Kolonne, dem Strömungsparameter und dem Verhältnis zwischen der Oberflächenspannung der Flüssigkeit und der Oberflächenspannung von Wasser ausgedrückt werden.

Mechanische Auslegungsparameter

Der Schoepentoeter sollte so ausgelegt werden, dass die folgenden mechanischen Anforderungen und Kriterien erfüllt werden:

- Er muss eine maximale Betriebslast am Eintrittsstutzen von 15000Pa unterstützen.
- Er muss seinem Eigengewicht und dem Gewicht der Flüssigkeit unter Betriebsbedingungen standhalten.
- Die Auslenkung nach unten oder oben unter Betriebslast darf 1% des Stutzen-durchmessers oder 15mm (je nachdem, welcher Wert größer ist) nicht übersteigen.
- Die Neigung des Schoepentoeters darf 1% des Kolonnendurchmessers oder 15mm (je nachdem, welcher Wert kleiner ist) nicht übersteigen.

- Die Wärmeausdehnung während des normalen Betriebs und unter Übergangsbedingungen, z.B. beim Anfahren und Abschalten, muss ebenfalls berücksichtigt werden.
- Bei sehr großen Schoepentoeter-Systemen mit einem Stutzendurchmesser von über 3 Metern und einer Länge von über 9 Metern müssen weitere detaillierte Berechnungen zur mechanischen Festigkeit und Schwingungsberechnungen durchgeführt werden.

Es gibt Fälle – z.B. beim Umbau von Vakuumkanonen in Raffinerien oder Flüssigkeitsabscheidern (sog. Knockout Drums) in Fackelanlagen –, in denen der Schoepentoeter noch stärkeren Belastungen als den oben genannten ausgesetzt ist. Hier sollten zusätzliche Maßnahmen getroffen werden, um ein Verbiegen oder Brechen der Leitblechspitzen zu verhindern. Dies kann z.B. durch Verwendung eines dickeren Materials oder durch den Einsatz von Versteifungsstreifen auf der Rückseite von langen, ungestützten Leitblechen geschehen.

Bewährte Leistungsfähigkeit

In den meisten Fällen hat sich die Leistungsfähigkeit des herkömmlichen Schoepentoeter als sehr gut erwiesen und häufig sogar optimistische Erwartungen übertroffen [1].

Es gibt jedoch einige wenige Anwendungen, z.B. Vakuumkanonen in Raffinerien, in denen die gemessene Trennleistung niedriger ausfiel als erwartet.

Dazu kann es kommen, wenn die durch die Leitbleche abgeschiedene Flüssigkeit nicht zum unteren Ende der Kolonne gelangt, sondern das Leitblech als dünner Film verlässt und vom aufsteigenden Dampf mitgerissen wird. Ein Teil der getrennten Flüssigkeit (der sogenannte Mitriss) kann so in die Eintrittszone der Kolonne gelangen, wodurch die Trennleistung geringer ausfällt als erwartet. Dies gilt insbesondere unter schwierigen Betriebsbedingungen – etwa bei einem Eintrittsimpuls von über 7000–8000Pa oder einem Lastfaktor von über 0,09m/s – wie sie häufig in Vakuumkanonen von Raffinerien vorkommen.



[1] Der herkömmliche Schoepentoeter ist eines der wirksamsten Systeme für die industrielle Gas-Flüssigkeits-Abscheidung, wenn nicht mehr als 95% der Flüssigkeit aus dem Gasstrom abgeschieden werden müssen.

Forschung und Entwicklung

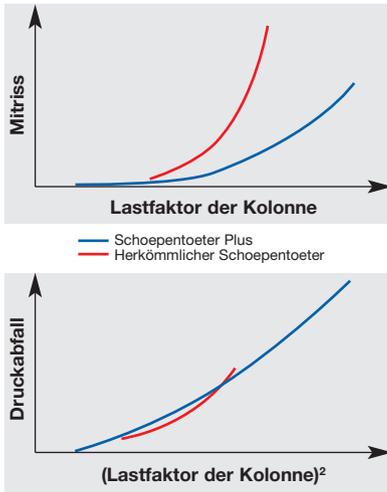
In der Pilotanlage von Sulzer Chemtech in Winterthur und im Labor von Shell in Amsterdam wurden umfangreiche Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in Form von experimentellen Tests und numerischen Strömungssimulationen durchgeführt, um die Trennleistung zu optimieren, ohne die hydraulische Leistungsfähigkeit, insbesondere den Druckabfall über den Eintrittsstutzen und den Schoepentoeter selbst, zu beeinträchtigen [2].

Vorgesehen war die Entwicklung einer Vorrichtung, welche die getrennte Flüssigkeit sammelt und dem Aufwärtsimpuls des aufsteigenden Dampfs entgegenwirkt. Dazu wurden mehrere Arten von weiterentwickelten Leitblechen getestet. Erreicht wurde das Ziel schließlich durch die Modifizierung der äußeren Leitblechenden von einem geraden, senkrechten Blech zu einer gekrümmten, schrägen Form, der sogenannten «Fangkante».



[2] In der Pilotanlage von Sulzer Chemtech in Winterthur und im Labor von Shell in Amsterdam wurden umfangreiche experimentelle Tests durchgeführt. Das Bild zeigt die Pilotanlage in Betrieb.

3 Die Tests wurden mit unterschiedlichen Kapazitätsfaktoren und Strömungsparametern durchgeführt. Bei höheren Kapazitätsfaktoren ist der Mitriss beim Schoepentoeter Plus um mehr als zwei Drittel geringer als bei der herkömmlichen Version.



4 Die Verbesserung wird ohne signifikante Druckverluste erreicht.

An der Fangkante sammelt sich die getrennte Flüssigkeit und fließt in einem Rinnsal ab, das schwer genug ist, um dem Aufwärtsimpuls des aufsteigenden Dampfs entgegenzuwirken. So erreicht die Flüssigkeit ungehindert den unteren Abschnitt der Kolonne, und der Mitriss wird reduziert. Die Tests wurden mit unterschiedlichen Kapazitätsfaktoren und Strömungsparametern durchgeführt 3.

Bei niedrigen Lastfaktoren wurde kein signifikanter Unterschied gemessen, d.h., die Leistung beider Systeme war ausreichend. Bei höheren Kapazitätsfaktoren war die Trennleistung des Schoepentoeter Plus deutlich höher als beim herkömmlichen System. Die Menge der mitgerissenen Flüssigkeit betrug weniger als ein Drittel der für verschiedene industrielle Kolonnen typischen Menge. Die Verbesserung wurde ohne einen signifikanten Anstieg des Druckabfalles erreicht 4.

Durch Regressionsanalyse der experimentellen Daten wurde eine neue Korrelation zur Vorhersage des Flüssigkeitsmitrisses entwickelt, welche die Wirkung der neuen Leitbleche berücksichtigt.

Außerdem wurde ein neues Werkzeug zur Fertigung der Fangkante konzipiert, das bis Ende 2010 an allen wichtigen Standorten von Sulzer verfügbar sein wird.

Numerische Strömungsuntersuchungen

In den letzten 10 Jahren hat sich die numerische Strömungsmechanik (*Computational Fluid Dynamics, CFD*) derart weiterentwickelt, dass sie mittlerweile zu einem unverzichtbaren Analyse- und Designwerkzeug für eine Vielzahl von industriellen Anwendungen geworden ist. Dazu gehören auch die Eintrittssysteme von Destillationskolonnen und Gas-Flüssigkeits-Abscheidern. Im Falle des hier beschriebenen Eintrittsverteilers wurde eine CFD-Untersuchung durchgeführt, um die Effizienz des Systems im Hinblick auf die Dampfverteilung zu prüfen. Dazu wurde die Entspannungszone (Flash-Zone) einer Vakuumkolonne modelliert und mit beiden Systemen analysiert. Dabei wurden folgende Betriebsbedingungen festgelegt:

- Ein Eintrittsimpuls am Eintrittsstutzen von 6370 Pa
- Ein Lastfaktor der Kolonne von 0.097 m/s
- Ein zu 30% offener Sammelboden oberhalb des Schoepentoeters
- Ein kombiniertes Bett aus strukturierten Packungen vom Typ Mellapak™ 125X und Mellagrid™ 64X oberhalb des Sammelbodens.

Die vertikalen Dampfgeschwindigkeiten (y-Achse im Bild) über die horizontale Fläche wurden an verschiedenen Höhen der Kolonne, insbesondere unter dem kombinierten Bett aus Mellagrid- und Mellapak-Packungen in der Waschzone, überprüft 5. Die verschiedenen Farben entsprechen verschiedenen Dampfgeschwindigkeiten, wobei die niedrigsten Werte in Blau und die höchsten Werte in Rot dargestellt sind. Es besteht kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Systemen, die Dampfverteilung bei beiden ist gut.

Anwendungsbereiche

Generell kann der Schoepentoeter Plus in allen Anwendungen eingesetzt werden, die sich auch für ein herkömmliches System eignen, z.B. bei der Abscheidung in Upstream-Anlagen der Öl- und Gasindustrie oder bei der Destillation in Downstream-Anlagen. Dieser Beitrag befasst sich hauptsächlich mit der zweiten Anwendung.

Downstream-Anlagen der Öl- und Gasindustrie

Es gibt Fälle, in denen kein Schoepentoeter Plus erforderlich ist, z.B. wenn bei einphasigen Prozessströmen kein bedeutender Vorteil bei der Verteilung erzielt würde. Hier stellt aufgrund der höheren Kosten der Plus-Version die herkömmliche Variante die attraktivere Lösung dar.

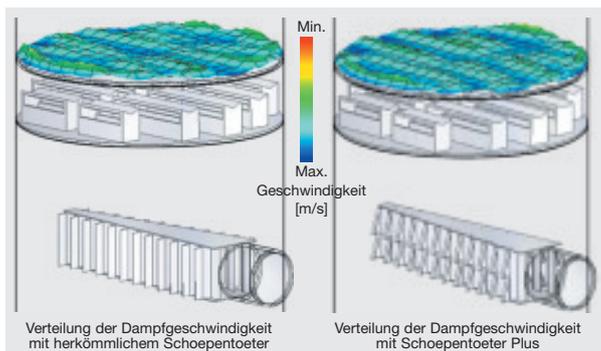
Die besten Kandidaten für den Schoepentoeter Plus sind Vakuumkolonnen, Hauptfraktionierkolonnen für die Rohöldestillation und Hauptfraktionierkolonnen von Hydrocrack-Anlagen in Erdölraffinerien, wo die effiziente Trennung von Dampf und Flüssigkeit eine wichtige Rolle für die Anlagenleistung spielt.

Fallstudie: Umbau einer Vakuumkolonne

Die besagte Kolonne befindet sich in einer großen europäischen Raffinerie. Ihre Hauptaufgabe ist die Gewinnung von leichtem Vakuumgasöl (LVGO) und schwerem Vakuumgasöl (HVGO) aus dem atmosphärischen Rückstand der ersten Destillation des Rohöls. Der auf 400–420 °C vorgewärmte und teilweise verdampfte Rückstand gelangt durch den Eintrittsverteiler in die Flash-Zone der Kolonne. Im Eintrittsverteiler wird der größte Teil der Flüssigkeit vom Dampf getrennt und der Dampf im Gasraum der Kolonne verteilt.

Die Flüssigkeit tropft nach unten in die Strippzone, wo die letzten leichten Kohlenwasserstoffe entzogen werden, und wird schließlich als Vakuumrückstand am Boden der Kolonne abgezogen. Die Dampfphase wird in den oberen Abschnitten der Kolonne in leichtes und schweres Vakuumgasöl fraktioniert. Das LVGO wird am oberen Ende der

5 Die verschiedenen Farben entsprechen verschiedenen Dampfgeschwindigkeiten. Es besteht kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Systemen, die Dampfverteilung ist bei beiden gut.



Kolonnen abgezogen, wobei ein «Pump-Around» dafür sorgt, dass die entsprechenden Dämpfe aus dem darunter liegenden Abschnitt der Kolonne kondensiert werden.

Das HVGO ist für gewöhnlich der erste nutzbare Seitenschnitt oberhalb der Flash-Zone. Auch hier sorgt eine Rezirkulation dafür, dass die richtige Menge Dampf aus der Waschzone kondensiert wird. Ein Teil des Kondensats, das Waschöl, wird zur Steuerung der Qualität des abgezogenen Produkts in das darunter liegende Bett zurückgepumpt. Neben anderen Faktoren wie der Zusammensetzung des Eingangsmaterials, der Konfiguration der Waschzone und den Betriebsparametern kann die Qualität des HVGO auch durch die Trennleistung des Eintrittsverteilers beeinflusst werden.

Probleme bei der bestehenden Kolonne

Die Flash-Zone der Kolonne war ursprünglich mit einem herkömmlichen Schoepentoeter ausgestattet. Aufgrund der geringeren Trennleistung, die unter den Erwartungen lag, fiel auch die Menge der in die Waschzone mitgerissenen Flüssigkeit (schwerste Kohlenwasserstoffe, die eigentlich mit dem Vakuumrückstand zum Boden der Kolonne gelangen sollten) höher aus als erwartet. Folglich war auch der Durchfluss von Slop-Wax (allgemein ein uner-

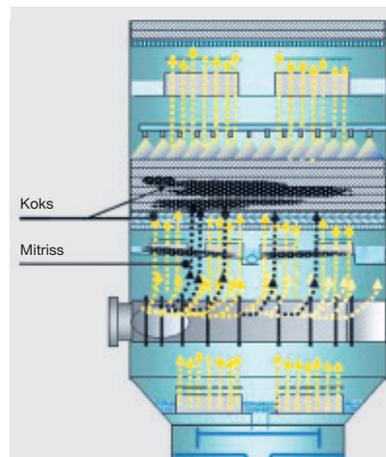
wünschtes Produkt) ständig höher als vorgesehen.

Bei dem Versuch, die Ausbeute an HVGO zu maximieren und gleichzeitig die Produktion von Slop-Wax zu minimieren, wurde das Waschöl erheblich reduziert (auch unter den Mindestwert), was zu einer Verschlechterung der Waschbettleistung führte:

- Schlechte Qualität des HVGO: hoher Anteil von Koksrückständen nach Conradson (*Conradson Carbon Residue, CCR*) und hoher Metallgehalt mit negativen Auswirkungen auf die nachgelagerte katalytische Fließbett-Crackanlage (FCC-Anlage). Dies führte zu einer geringeren Flüssigkeitsausbeute und einem höheren Katalysatorverbrauch als erwartet.
- Verkokung des Waschbetts: höherer Druckabfall und eine geringere Destillatausbeute. Dies führte zu einer kürzeren Anlagenlaufzeit, unerwarteten Abschaltungen und somit zu einer geringeren Anlagennutzung und höheren Wartungskosten [6].

Modifikationen an der Kolonne

Nach einer eingehenden Untersuchung und detaillierten Analyse der Kolonnenleistung entschied sich Sulzer dafür, den vorhandenen herkömmlichen Schoepentoeter durch die Plus-Variante zu ersetzen. Das Waschbett wurde aufgrund von Koksbildung ausgetauscht, während die vorhandene Kombination



[6] Der Koks im Waschbett verursacht einen höheren Druckabfall und eine geringere Destillatausbeute. Dies wiederum führt zu einer kürzeren Anlagenlaufzeit, unerwarteten Abschaltungen und somit zu einer geringeren Anlagennutzung und höheren Wartungskosten.

aus Mellagrid und Mellapak erhalten blieb. Zusätzlich wurden die beiden Rezyklierungsbetten bei der planmäßigen Wartung der Anlage im Rahmen der Generalüberholung der Raffinerie durch dieselbe Art von Packung ersetzt. Alle anderen Kolonnen-einbauten wurden beibehalten [7].

Die Kolonne wurde erst kürzlich wieder angefahren. Eine detaillierte Begutachtung der Anlage bei maximalem Durchsatz wird bis Ende 2010 erwartet.

Verbesserte Trennleistung

Der Schoepentoeter Plus liefert der Öl- und Gasindustrie ein hervorragendes Werkzeug zur Verbesserung der Trennung von Gas-Flüssigkeits-Gemischen. Die Hauptanwendungsbereiche sind Raffineriekolonnen in Vakuumdestillationsanlagen, Rohöl-Destillationsanlagen und Hydrocrack-Anlagen.

Am besten lässt sich der Schoepentoeter beim Umbau von Kolonnen mit radialen Eintrittsverteilern einsetzen. Bei neuen Kolonnen kann aufgrund der höheren Kosten des Schoepentoeter Plus die herkömmliche Variante die attraktivere Lösung darstellen – vorausgesetzt die Leistungsanforderungen sind nicht übermäßig hoch.

[7] Schoepentoeter Plus für die Vakuumkolonne einer europäischen Raffinerie (oben), Vorderansicht (unten links), verbessertes Leitblech mit Fangkante (unten rechts).



Giuseppe Mosca
Sulzer Chemtech Ltd.
Piazza Duca D'Aosta 12
20124 Mailand
Italien
Telefon +3902 6672 13 215
giuseppe.mosca@sulzer.com

Pierre Schaeffer
Sulzer Chemtech AG
Sulzer-Allee 48
8404 Winterthur
Schweiz
Telefon +41 52 262 3820
pierre.schaeffer@sulzer.com

Bart Griepsma
Sulzer Chemtech AG
Sulzer-Allee 48
8404 Winterthur
Schweiz
Telefon +41 52 262 3756
bart.griepsma@sulzer.com